

(1) 都市ごみ収集輸送システムの効率化と 環境影響評価に関する研究

STUDY ON RELATION BETWEEN EFFICIENT MUNICIPAL SOLID WASTE COLLECTION-
TRANSPORTATION SYSTEM AND THE ENVIRONMENTAL IMPACT

青島縮次郎* 北尾高嶺* 片田敏孝* 草野光平*
Naojiro AOSHIMA*, Takane KITAO*, Toshitaka KATADA*, Kohei KUSANO*

ABSTRACT; The municipal solid waste collection-transportation system has recently become an important topic of discussion among solid waste management planners, because of geometrical increase of the municipal solid waste volume and the collection-transportation distances. The purpose of this study is to analyze the relation between efficient municipal solid waste collection-transportation system and the environmental impact. The efficient municipal solid waste collection-transportation system under this study includes the introduction of relay transportation system and the dispersion of collection-transportation bases. The environmental impact is measured in terms of going into and out of the collection-transportation base and changing transportation route. Depending on the municipal solid waste collection-transportation survey conducted at Toyohashi City, Aichi Prefecture, this paper presents the efficient system balanced with the environment.

KEY WORDS; municipal solid waste, collection-transportation system, environmental impact, optimization

1. はじめに

人口の都市集中は都市ごみ発生量の増加と発生圏域の拡大をもたらしている。加えて、埋立処分地の早期埋立完了および近接地における新規処分地立地の困難性等により、その収集輸送は大量かつ広域化の一途をたどっている。このことによる都市ごみ処分費用の増加、周辺への環境影響、そして既存交通流への阻害等は、今や重大な解決されるべき社会問題に発展してきたと言えるであろう。

ところで、この都市ごみ収集輸送については、既にいくつかの研究がなされている。松藤ら¹⁾²⁾は都市ごみステーション収集の追跡調査に基づいて、そのシミュレーションモデルを構築し、効率的収集区域の決定等への適用を試みている。また、乙間ら³⁾は廃棄物輸送を広域埋立処分システムのサブシステムとして組み込み、その全システムの最適化手法を提示した。そして、田中⁴⁾は都市廃棄物の中継輸送システムの特徴と問題点に関する検討を行い、輸送システムの最適化事例を示した。これらの研究はいずれも収集あるいは輸送の効率化を目的とし、そのための方法、課題を明らかにしようとするものである。しかしながら収集と輸送を一体的なシステムとして捉え、その両面からの効率化によるシステム挙動および制約要因を明示的に分析する研究が未だ十分になされていない。

本研究は都市ごみ収集輸送システムの効率化を収集基地の分散化と中継輸送の導入の両面から捉え、それ

*豊橋技術科学大学工学部建設工学系 Department of Regional Planning, Toyohashi University of Technology

らによる収集輸送ネットワークおよび流動量の変化を検討するとともに、目的関数となる費用関数およびその制約条件を定式化することによって、いくつかの視点から最適化に関する考察を加えようとするものである。そしてさらに、以上の分析を愛知県豊橋市の都市ごみ収集輸送システムに適用し、その効果を具体的事例でもって示そうとするのが本研究の目的である。

2. 都市ごみ収集輸送システムの設定

都市ごみ収集輸送システムの分析を進めるに当たり、本研究ではいくつかの前提条件を設けた。

まず、都市ごみの種類についてである。都市ごみには可燃ごみ、不燃ごみ、粗大ごみ、有害ごみ、資源ごみ等があり、それぞれに対して独立した処理処分体系の下に別個の収集輸送システムが形作られている。これらの都市ごみのうち可燃ごみは、量的にも圧倒的に多く、したがって収集輸送システムの効率化が最も望まれている種類であると言える。そこで本研究はこの可燃ごみを対象として分析する。勿論、可燃ごみを対象とした分析の成果は、その他の種類の都市ごみに対しても、原則として適用可能である。

次には、収集輸送システムの範囲である。可燃ごみの収集輸送は通常、収集基地から出発した収集車がいくつかの収集ステーションを回って満載にした後、そのまま焼却施設等に輸送するか、あるいは中継輸送基地で積み替えて、輸送車が焼却施設等に輸送するかのどちらかである。本研究では収集輸送システムの範囲を、この収集基地から焼却施設までとする。ここで、中継輸送基地は収集基地に併設されるのがシステム運営上合理的であり、一般的にもそうなっていることから、本研究でもその考え方を踏襲する。また、荷姿はコンテナ方式とする。

収集ステーションの配置については従来からの慣行により地区毎に決定されたものであるから、本研究ではこれを与件とする。そして焼却施設についても1ヶ所で固定とし、その領域での収集輸送システムを考えることとする。

3. 問題の定式化

可燃ごみ収集輸送システムの最適化問題を次のように定式化する。

$$\min_{a_1} C(x_1; a_1) \quad \text{--- (1)} \quad \text{subj. to } E(x_j; a_j) \leq E^* \quad \text{--- (2)}$$

ここに、(2)式における a_j は j 番目のシステム方式代替案を示し、そして x_j はその時の可燃ごみ流動状態を示す。そこで(2)式は、すべての代替案の外部影響条件 E は目標とされる外部影響条件 E^* 以下でなければならないことを表している。そして(1)式は、(2)式を満足した代替案 a_1 のうち、費用 C が最小のものを採ることを意味している。

まず費用関数 C を求めるが、その場合に二通りを想定する。第一は中継輸送を行わない場合であり、その収集輸送システムを図-1のような位置関係モデルとして捉えることとする。すなわち収集基地から出発した収集車は地区 n に到着し、その地区内の収集ステーションを回って可燃ごみを満載にし、そして直接焼却施設へ輸送するものである。この方式が適用されるすべての地区について、年間の可燃ごみ発生量を収集輸送した場合に要する年間費用 C は次のように表すことができる。

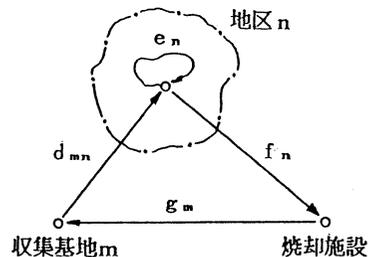


図-1 中継輸送を行わない場合の位置関係モデル

$$C = \sum_n (d_{mn} + e_n + f_n + g_m) \cdot (Q_n/w) \cdot u_c + (p \cdot h_c + \sum_{k=1}^2 s_k \cdot l_k) \cdot \left[\sum_n \{ (d_{mn} + e_n + f_n + g_m) \cdot (Q_n/w) / v + (Q_n/w) \cdot t_o \} / t_a \right] \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 d_{mn} : 収集基地 m から地区 n の代表地点までの距離 (km)

e_n : 地区 n の中で収集車が可燃ごみを満載するまでに走る距離 (km)

- | | |
|-----------------------------------|--|
| f_n : 地区nの代表地点から焼却施設までの距離(km) | g_m : 焼却施設から収集基地mまでの距離(km) |
| Q_n : 地区nにおける年間可燃ごみ発生量(t/年) | w : 収集車の積載容量(t) |
| u_c : 収集車のkm当たり走行費用(円/km) | p : 収集車1台当たり乗組人員(人/台) |
| h_c : 年間1人当たり人件費(円/人・年) | s_k : $k=1$; 収集車1台当たりの資本回収率 |
| l_k : $k=1$; 収集車1台当たり購入費用(円/台) | $k=2$; 収集車1台当たり建設の資本回収率 |
| $k=2$; 収集車1台当たり建設費用(円/台) | $s_k = r(1+r)^{q_k} / \{(1+r)^{q_k} - 1\}$ |
| v : 収集車の平均走行速度(km/hr) | ここに、 r : 利子率 |
| t_o : 収集車が可燃ごみを満載するに要する積込時間(hr) | q_k : $k=1$; 収集車の平均耐用年数(年) |
| t_a : 収集車1台当たりの年間稼働時間(hr/台・年) | $k=2$; 収集車建設の平均耐用年数(年) |

(3)式において右辺第1項は収集車の年間走行費用を示し、第2項は年間人件費および初期投資年間換算額を表している。なお、mは代替案として与えられている。

第二は中継輸送を行う場合であり、その収集輸送システムを図-2のような位置関係モデルとして捉えることとする。すなわちここでは、収集基地mから出発した収集車は地区nに到着し、その地区内の収集ステーションを回って可燃ごみを満載にした後、収集基地mに併設の中継輸送基地に戻り、そのごみをコンテナに積み替える。そしてコンテナが満載になった時点で、輸送車が焼却施設との間を往復輸送するというものである。この方式が適用されるすべての地区について、年(中継輸送基地が併設)間の可燃ごみ発生量を収集輸送した場合に要する年間費用Cは次のように表すことができる。

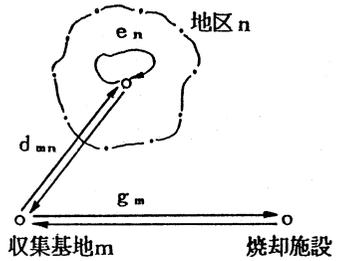


図-2 中継輸送を行う場合の位置関係モデル

$$C = \sum_n (2d_{mn} + e_n) \cdot (Q_n/w) \cdot u_c + (p \cdot h_c + \sum_{k=1}^2 s_k \cdot l_k) \cdot \left[\sum_n \{(2d_{mn} + e_n) \cdot (Q_n/w) / v + (Q_n/w) \cdot t_o\} / t_a \right] + \sum_n 2g_m \cdot (Q_n/w) \cdot U_c + (P \cdot h_c + \sum_{i=1}^2 s_i \cdot l_i) \cdot \left[\sum_n \{2g_m \cdot (Q_n/w) / v + (Q_n/w) \cdot T_o\} / T_a \right] + x \cdot (\sum_n Q_n)^z + z \cdot h_c + s_b \cdot l_b \quad (4)$$

- | | |
|--|--|
| ここに、 W : 輸送車の積載容量(t) | U_c : 輸送車のkm当たり走行費用(円/km) |
| P : 輸送車1台当たり乗組人員(人/台) | s_1 : $l=1$; 輸送車1台当たりの資本回収率 |
| l_1 : $l=1$; 輸送車1台当たり購入費用(円/台) | $l=2$; 輸送車1台当たり建設の資本回収率 |
| $l=2$; 輸送車1台当たり建設費用(円/台) | $s_1 = r(1+r)^{q_1} / \{(1+r)^{q_1} - 1\}$ |
| V : 輸送車の平均走行速度(km/hr) | ここに、 q_1 : $l=1$; 輸送車の平均耐用年数(年) |
| T_o : コンテナを輸送車に積み替えるに要する時間(hr) | $l=2$; 輸送車建設の平均耐用年数(年) |
| T_a : 輸送車1台当たりの年間稼働時間(hr/台・年) | x : 中継輸送建設運搬費用に関する係数 |
| s_b : 中継輸送建設の資本回収率 | y : 中継輸送建設運搬費用における規模の効果を表す係数 |
| $s_b = r(1+r)^{q_b} / \{(1+r)^{q_b} - 1\}$ | z : 中継輸送建設運搬に要する人員(人) |
| ここに、 q_b : 中継輸送建設の耐用年数 | l_b : 中継輸送建設建設費(円) |

(4)式において右辺第1項は収集車の年間走行費用を示し、第2項は収集車に係る年間人件費および初期投資年間換算額を表している。また第3項は輸送車の年間走行費用を示し、第4項は輸送車に係る年間人件費および初期投資年間換算額を表している。そして第5項から第7項までは中継輸送施設に係る年間の運転費、人件費および初期投資年間換算額を表している。なお、mはここでも代替案として与えられる。

以上のようにして、中継輸送を行わない場合と行う場合の費用関数が定式化された。そこで、収集基地の分散化と中継輸送の導入を組み合わせたシステム方式代替案が準備されれば、代替案毎の費用は算出できることとなった。

次に、外部影響条件を考
える。表-1は収集輸送シ
ステムを組み立てる際に考
慮すべき外部影響条件を、
発生源別収集輸送過程別に
整理したものである。これ
ら外部影響条件の目標値は、
騒音、振動、大気汚染等
のように、ある基準値が設
定されているものについて

表-1 収集輸送システムに係る外部影響条件

施設種類	収集輸送手段 (収集車、輸送車)	都市ごみ	収集輸送施設 (収集基地、中継輸送基地)
収集輸送時	騒音、振動、大気汚染、 粉じん、交通事故、 交通渋滞	悪臭、汚水、 ごみの散乱、粉じん、 景観破壊	
	社会活動への影響		
中継積替時		悪臭、汚水、 ごみの散乱、粉じん、 はえ、ねずみ	日照妨害、電波障害、 景観破壊
		社会活動への影響	

はそれに従う。そして、そのような基準値がないものについては、現状以下とする。また収集輸送施設につ
いては、それが立地する周辺の事情を考慮して決められるべきである。

4. 事例研究 ～豊橋市を対象として～

4.1 豊橋市における可燃ごみ収集輸送の現状

豊橋市は面積25,889km²、人口324,000人の都市である。同市では昭和55年度に廃棄物総合処理資源化事業として資源化センター（通称、ユールックス）を完成させている。この目的は廃棄物の処理段階における資源化、適正処理、農業利用等を図ろうとするものであり、そのために収集も5分別（可燃ごみ、不燃ごみ、粗大ごみ、有害ごみ、資源ごみ）で行っている。このうち可燃ごみについては資源化センターで大半を焼却し、一部はし尿処理施設からの汚泥とともにコンポスト化している。

さて、同市における可燃ごみ発生量の将来推移は、過去からのトレンドにより年間で約2,500～3,000トンづつ増加すると予測されており、焼却施設増設の必要性が高まっているが、一方でそれを収集輸送するシステムの効率化もまた直面する緊急課題となってきている。同市では従来より東部に収集基地を置き、そこを出発した収集車が市内全域に散開し、可燃ごみを収集して、そのまま南部に位置する資源化センターに輸送するというシステムを組んでいた。しかし、可燃ごみの増加と発生圏域の拡大は収集需要を飛躍的に増大させたことから、昭和61年度には東部の収集基地に中継輸送基地を併設し、東・北部地域を対象に中継輸送を開始して現在に至っている。

4.2 システム方式代替案の設定

豊橋市における収集需要は今後益々増大することが考えられ、それに対応した収集輸送システムの効率化が必要とされている。そこで、以下のような代替案を設定する。

- (I) 昭和60年度以前の状態。すなわち、収集基地が東部に1ヶ所あり、中継輸送を行わずに、収集車がそのまま焼却施設に可燃ごみを輸送するシステム。
- (II) 昭和61年度以降、現在までの状態。すなわち、収集基地とそれに併設の中継輸送基地が東部に1ヶ所あり、東・北部地域を対象に中継輸送を行うとともに、その他の地域は従来通りというシステム。
- (III) 収集基地の分散化を図るために、南部に位置する焼却施設に収集基地を併設して、南部地域に対する収集輸送を行い、その他の地域は(II)の状態のままというシステム。
- (IV) さらに西部に中継輸送基地併設の収集基地を作って、西部地域を対象に中継輸送を行い、その他の地域は(III)の状態のままというシステム。すなわち、この段階に至って市域は3分割され、東・北部、西部の各地域は中継輸送が行われ、南部地域は収集車による収集輸送が行われるという状態となる。

4.3 分析の枠組と各種係数の算定

可燃ごみ発生量の将来推移は、豊橋市が試算した昭和60年度から昭和70年度までの小学校区毎の値を

用いる。したがって図-1等における地区は小学校区とする。また、西部収集基地の立地は、中継輸送基地の併設や外部影響条件を考慮して、適当な面積を有する市有地を考える。なお外部影響条件については、既存の東部収集基地への車両出入量、および焼却施設周辺の道路の車両交通量の軽減効果を見ることとする。

費用計算に当たっては、昭和61年度現在の豊橋市における実績値を用いる。ここで主要なものを示すと、収集車、輸送車1台当たりの購入費は各610万円、1703万円で、耐用年数はいずれも9年、それら1台当たり施設費用はいずれも10万円で、耐用年数10年とする。また、それぞれのkm当たり走行費用は55円/kmと112円/kmとする。中継輸送施設の建設費は2億8983万円で耐用年数10年とし、その運転費用関数のうち規模の効果を表す y は 0.5^y とする。人件費については一律600万円/人・年として、収集車には3人/台、輸送車には1人/台が乗組むものとし、中継輸送施設の運転要員は3人とする。そして、利率率は0.06とした。

4.4 分析結果とその考察

図-3は代替案毎の収集車および輸送車の年間総走行距離を示している。これを見ると、中継輸送の導入そして収集基地の分散化により、収集車の総走行距離が大幅に短縮化されるのがわかる。このことは収集車の収集効率が非常に上り、必要とされる収集車台数の削減が図れることを意味している。これに対して輸送車年間総走行距離は、収集車のその減少量と比較してはるかに小さな値となっている。このようなことによって、図-4で見ると、収集輸送にかかる年間費用が、代替案(I)から(IV)になるにしたがって将来的には減少していくという結果となるのである。とくにこの図からは、中継輸送の導入が年間費用の伸び率を下げる方向に働き、一方、収集基地の分散化はその絶対額を相対的に減少させる方向に働くということが読みとれる。次に外部影響条件の分析結果であるが、代替案(I)および(II)については、それぞれ昭和59年および昭和61年の11月第3週の実績値を調べたものであり、代替案(III)および(IV)はそれに基づいて昭和61年断面の値を推定したものである。まず、既存の東部収集基地への車両(収集車および輸送車)の時間帯別出入量の変化を代替案毎に見たのが図-5である。この図から、代替案(II)では中継輸送の導入により、午前中

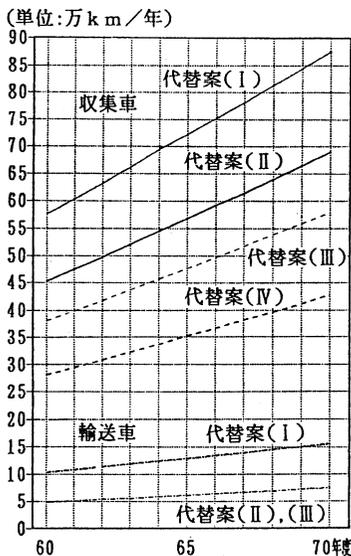


図-3 代替案別収集車・輸送車年間総走行距離

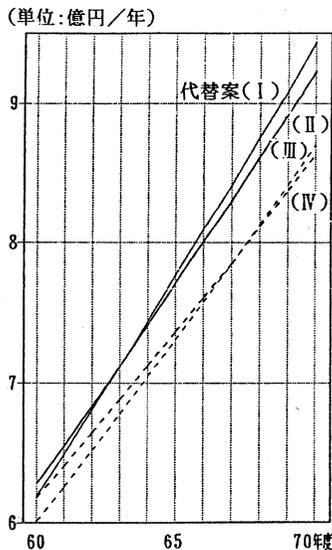


図-4 代替案別収集輸送費用

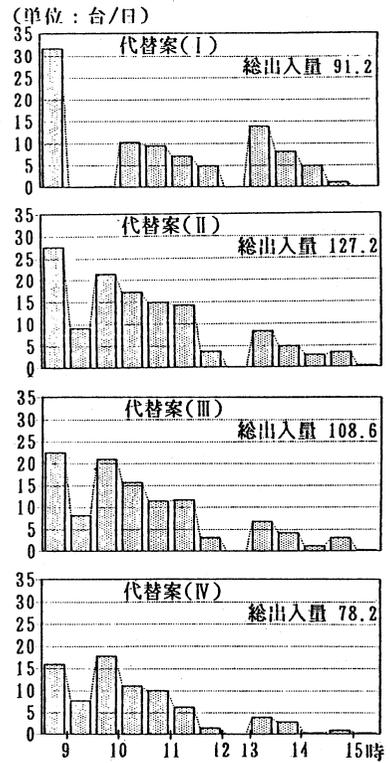


図-5 東部収集・中継輸送基地への車両出入量

の出入量が増加するのがわかる。しかし、代替案(Ⅲ)、そして(Ⅳ)となるにしたがって、収集基地の分散化の効果が現れ、出入量が減少していく。とくに午後出入量が大幅に減少するが、このことは収集輸送時間の適切な割り振りによって午前出入量を午後割り当てることも可能であることを示唆している。また、図-6は焼却施設周辺の道路の車両(同上)交通量の変化を代替案毎に見たものである。これより、中継輸送の導入が焼却施設周辺の道路交通負担を大幅に減少させることがわかる。このことは今後の焼却施設増設を考えるうえでも、収集輸送システムの効率化が不可欠であることを示している。

5. まとめ

本研究は収集と輸送を一体的なシステムとして捉え、その最適化問題を収集基地の分散化と中継輸送の導入という観点から定式化した。そして、豊橋市を対象に分析を試みたところ、収集輸送システムの効率化は費用低減をもたらすとともに、既存の収集基地および焼却施設周辺の道路交通負担の低減にもつながることを示すことができた。

ところで、収集基地の分散化と中継輸送の導入は収集効率を高めることとなるが、そのことによって生まれる余力は、より高いレベルの収集サービスに振り向けることも考えられる。収集基地の分散化は、市内全域に公平な負担を負わせるというだけでなく、そのことによって享受できるサービスが向上するというのも実現化に向けては重要なことであると思われる。また、システム運営上から言えば、災害時における柔軟な対応が可能となることも強調されるべきである。

さて、残された研究課題の第一は、可燃ごみ以外の都市ごみへの適用問題である。第二は、環境影響をより明示的な形で分析することである。第三は、大都市等、他の地域への適用可能性を拡大することである。

最後に、資料の提供等、心よくご協力下さった豊橋市環境部の白井公部長を始めとする皆様方、および国立公衆衛生院衛生工学部廃棄物処理室の田中勝室長に感謝いたします。

参考文献

- 1) 松藤敏彦, 神山桂一, 田中信寿, 松尾孝之: 都市ごみステーション収集の追跡調査について, 都市清掃, 第38巻, 第147号, pp. 38~46, 1985. 8.
- 2) 松藤敏彦, 神山桂一, 田中信寿: 都市ごみステーション収集のモデル作成に関する研究, 土木学会論文集, 第377号/Ⅳ-6, pp. 66~69, 1987. 1.
- 3) 乙間末広, 河村清史, 田中 勝, 内藤正明: 広域廃棄物埋立処分システムの最適化, 土木学会論文集, 第375号/Ⅱ-6, pp. 301~310, 1986. 11.
- 4) 田中 勝: 都市廃棄物の中継輸送システム, 都市清掃, 第121号, pp. 26~31, 1981. 3.
- 5) 土木学会: 昭和59年度広域最終処分場計画調査・環境保全計画調査報告書(厚生省委託調査), p. 77, 1985. 3.

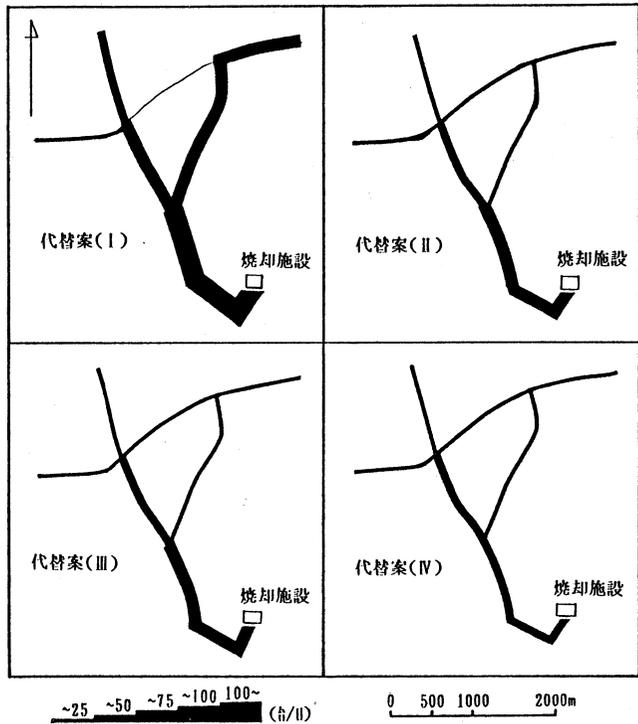


図-6 焼却施設周辺の車両交通量